

身近な題材で数学的政策評価方法を指導する 「課題学習」導入教材の開発と実践

小山桂佑¹⁾・山城六三郎¹⁾・榎村耕佑¹⁾・岡本敬²⁾・永原健太郎²⁾・野本文彦²⁾

1. はじめに

1.1 数学「課題学習」の趣旨

平成21年改訂の高等学校学習指導要領から、数学科I, Aに「課題学習」が導入され、平成30年改訂の高等学校学習指導要領では、数学I, II, IIIで扱うよう変更された。学習指導要領によれば、課題学習では、「内容又はそれらを相互に関連付けた内容を生活と関連付けたり発展させたりするなどした課題を設け、生徒の主体的な学習を促し、数学のよさを認識させ、学習意欲を含めた数学的に考える資質、能力を高めるようにする」ことが求められている。なお、ここでいう内容とは、各科目で扱う単元内容のことである。

数学の有用性を生徒に認識させるには、単元内容と実生活との関連性を示すだけでなく、身近な現実の問題に対して数学を活用して問題解決させる機会を生徒に提供する必要があるだろう。なぜなら、問題解決場で数学が活用できないなら、数学自体を面白いと感じている生徒以外には、学ぶ意味がないものになってしまうからである。したがって、課題学習の導入では、生徒にとって身近な課題を設定して、それを解決するために通常の授業で学んだことをどのように活用すればいいのかを明示的に指導する必要がある。

1.2 「逆引き設計」の必要性

教科教育の改善について、松田(2020)は「全教科を総合して育成すべき資質・能力から教科の授業を設計するという『逆引き設計』の発想が必要である」としている。つまり、総合的な学習の時間で生徒に活用させたい各教科の知識や見方・考え方を設定し、各教科の探究学習でそれらを活用する準備をさせ、通常の授業で汎用的に活用できる知識や見方・考え方を指導するという順序で授業設計や改善が行われる必要がある

としている。

前述したように、各教科の通常授業の指導内容から授業を設計すると、学問的立場を離れて実生活の問題との関連を考えようとしても、なかなか授業を設計することができない。したがって、まず、一市民として育成すべき問題解決能力を総合的な学習の時間に育成すべき能力として設定し、そのために必要となる見方・考え方を各教科の通常の授業及び探究的授業で指導するという設計方法を取れば、総合的な学習の時間→各教科の探究活動→各教科の内容の体系化が可能になると思われる。

1.3 汎用的問題解決の「縦糸・横糸モデル」

前述したように、課題学習では問題解決能力を育成することが求められている。そのために、松田(2015)は汎用的な問題解決能力を育成するために、縦糸・横糸モデルに基づく授業展開を考えるべきとしている。このモデルは、問題解決を「目標設定過程⇒代替案発想過程⇔合理的判断過程⇒最適解導出過程⇒[合意形成過程]⇒ふり返り過程」という縦軸の各過程に即して進め、各過程において「情報収集⇒処理⇒まとめ」の横糸の手順を進めるものとしている。

2. 目的

本研究では、東京工業大学附属科学技術高等学校(以下、附属高校と記す)の「数学I」で課題学習に取り組む直前の生徒を対象に、縦糸・横糸モデルに基づき、数学的な見方・考え方をを用いて課題学習に取り組む方法を習得させるために、ゲーミング教材を作成し、効果を検証する。また、東京工業大学で「数学科教育法III」を履修している学生にも課題学習の指導案を作成する参考として本教材に取り組んでもらう。

ゲーミング教材は、現実の問題を縦糸・横糸モデルに従って探究していくことで、生徒の課題学習への取り組みを支援することに焦点を当てる。附属高校の生徒には、教材⇒事後アンケートの順に取り組ませ、教材のログとアンケート結果から、効果を検証する。

2022年1月31日受付 2022年2月14日受理

1) 東京工業大学「数学科教育法実践演習II」履修生

2) 東京工業大学附属科学技術高等学校

3. ゲーミング教材の説明開発

3.1 教材の概要

本教材は、縦糸・横糸モデルに基づき、教科の見方・考え方を活かしながら課題学習に取り組めるように指導する教材である。そのために、課題学習における探究活動を仮想的に体験してもらい構成とした。本教材を作成するにあたり、神里ら(2021)及び松田(2021)を参考にした。生徒に、縦糸・横糸モデルに基づいた作業手順、数学的な見方・考え方の活用法を身につけてもらうため、作業は「導入⇒目標設定過程⇒代替案発想過程⇔合理的判断過程⇒最適解導出過程」の順に構成し、各過程で、縦糸・横糸モデル、数学的な見方・考え方に関する発問に答えながら探究活動を進める設計にした。

また、逆向き設計の考え方にに基づき、総合的な学習の時間に「0円ソーラー」という政策を評価させることを前提とした教材にすることとした。ここで、「0円ソーラー」とは、住民が初期費用0円でソーラーパネルを設置できる政策であり、実際に神奈川県や京都市で施行されている。設置事業者には自治体から一定の補助金が出るようになっており、その補助金額の妥当性を評価させる。この政策において、自治体・事業者・住民の関係は、**図1**のようになる。

今回の課題学習教材では、その後に行う総合的な学習の時間に、「0円ソーラー」の政策評価ができるようなテーマ設定をするべきである。また、生徒にとって身近な点も重要である。そこで、今回のテーマとしては、「文化祭の予算の使い方」を設定することにした。具体的には、100万円の予算をクラスへの補助金と受験生候補(中学生3年生)へのチラシ配布とにどう配分すると今年度の受験者数が増えるか、を考える問題とした。生徒は学費を高校に納めているため、**図2**に示す通り「0円ソーラー」の類題と捉えられる。

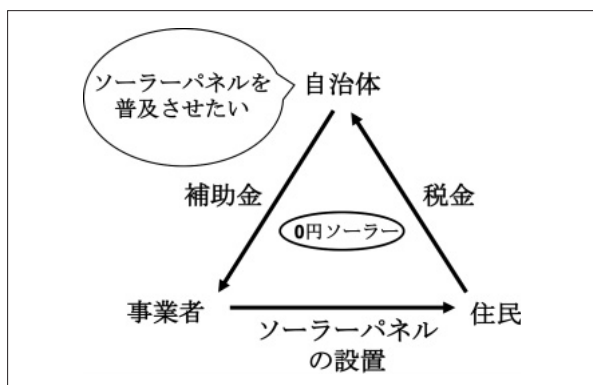


図1 「0円ソーラー」に関する当事者間の関係

3.2 導入と目標設定過程

導入は、施策の概要を理解させることを目的としている。今回は、「学校側は、文化祭のために予算100万円を用意し、①各クラスの催し物に4万円(15クラスで60万円)を補助し、②中学生にPRするためのチラシ配布に40万円を使う」というものである。ここで、生徒は施策を決める立場ではなく、学校側の提案の有効性を検証する立場である点を強調している。これは、総合的な探求の時間で行う政策評価において、生徒の立場が市民となることを意識した逆向き設計の考え方によるものである。

また、数学の課題学習において数学的な見方・考え方を活用させるべく、教材内でそれらを例示するスライドを設けた(**図3**)。さらに、課題解決全体を縦糸・横糸モデルに沿って行うため、縦糸の過程および横糸の過程を確認するスライドを設けた(**図4**)。

目標設定過程では、縦糸・横糸モデルに則り、問題分析では、代替案の要素と解の良さとを関連付けたり、制約条件の整理を行い、計画立案では、作業計画を立てる。解の良さの検討では、代替案発想過程で取り上げる経済性(費用対効果)および安定性(不確実性の排除)という2つの観点の整理を行う。また、施策の効果の検証やより良い運用法の選択を行うには、解の制約条件と解の良さとの識別が重要である。よって、**図5**に示すように、解の各要素が制約条件に該当するのか、良さに該当するのかを選択させる発問を設け、生徒の理解の確認を行い、誤答した場合は解の制約条件と解の良さの識別についてフィードバックを与えて理解を促した。作業計画に関しても同様に、作業の制約条件と作業の良さの識別を発問した。

今回は、**図6**にあるように解の制約条件と解の良さを設定した。解の良さ1「なるべく受験者数を増やしたい」は晴れの日を受験者数の最大化、解の良さ2「お天気など不確定要素の左右されない」は雨の日の受験

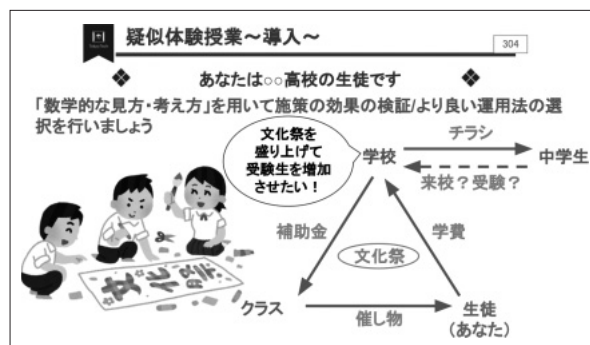


図2 本教材の導入で問題構造を示す画面

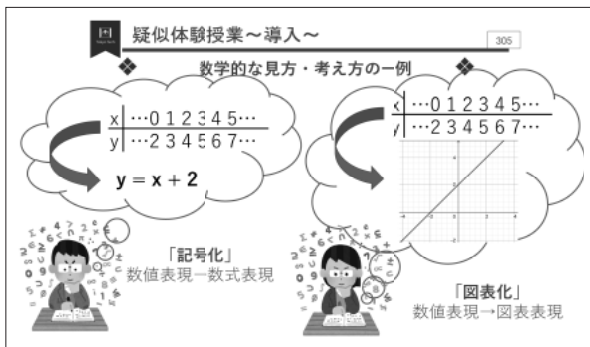


図3 数学的な見方・考え方を例示する画面

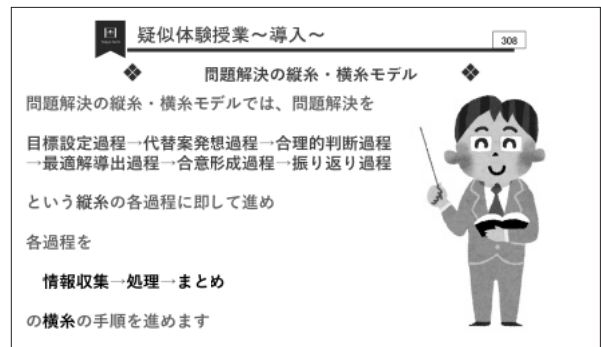


図4 縦系・横系モデルを確認する画面



図5 解の各要素についての発問を設けた画面

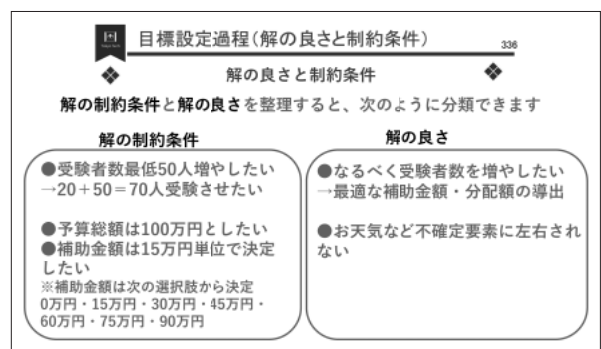


図6 解の制約条件と解の良さを提示した画面 (図5で設けた発問の解答)

者数の最大化を指している。この言い換えは最適解導出過程で明示している。

3.3 代替案発想過程と合理的判断過程

代替案発想過程と合理的判断過程では、2つの過程を行き来しながら施策評価を精緻化していく。この教材では、時間の許す限り、代替案発想過程を最大3回行う。過程全体を通じ、数学的な見方・考え方の活用と、代替案発想過程⇔合理的判断過程の進め方の習得を目的とする。

代替案発想過程1では、記号化、図表化の見方・考え方や、それに基づく情報収集力を修得させる。そのために、「受験者数と予算の使い道を関数化するにはどのような情報が必要か?」「得られたデータをどのように関数化するか?」などを発問しながら、情報を収集し、受験者数の数式化を進める。

図6が数式化を行う際のモデルである。このモデルでは、チラシで文化祭への来校者数を増やし、補助金で出し物の質を高めて、文化祭に来た生徒の受験率を上げることを想定している。ここで鍵になるのが、クラスへの補助金額xから受験率を推定する関数f(x)の導出である。本教材では、他校の事例(データ)から帰納的に関数を導出している(図7)。また、本教材では

もともと来校意思があるか否かで受験率が変ること(図8)や、天気によって来校者数が異なること(図9)を仮定している。そして、導出した受験者数のグラフ(図10)を用いて、最適な予算の分配額を求める(図11)。

合理的判断過程1では、前過程で収集した「補助金と受験率のデータ」について再検討する。前過程で補助金と受験率の関係を求める際には、他校の受験率データに三次関数を適用して関数化している。その際、受験率は補助金のみで依存すると仮定している。本過程では、まず、「受験率は補助金のみで決まるだろうか?」と発問して、情報を再検討する必要があることに気づかせる。その後、この問題の場合、学校自体の人気や、立地などの影響も考えられることをフィードバックする。その対応策として、どの学校も前年度は補助金を出していないと仮定して、データを前年からの受験率の伸びのデータに取り換える。このようにすれば補助金によって受験率がどれだけ伸びたかを表すデータを得ることができる。

代替案発想過程2では、そのデータを元に数式を修正し、再度分配額を決定する(図12)。その後、合理的判断過程2に進み、チラシの種類(両面カラー、片面カラー、白黒)でもチラシの効果が異なることを指摘する。

続く代替案発想過程3で晴れの日、雨の日それぞれに対し、チラシを両面カラー、片面カラー、白黒の3

通りずつ合計6種類のグラフを書き、分配額を検討する(図13)。

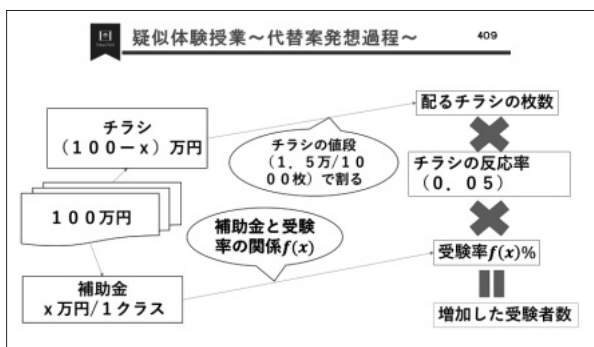


図6 数式化のために整理した関係モデルの提示画面

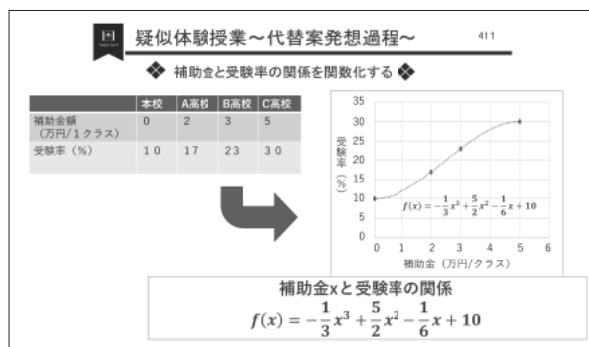


図7 f(x) を決めるためのデータとそれに基づく関数

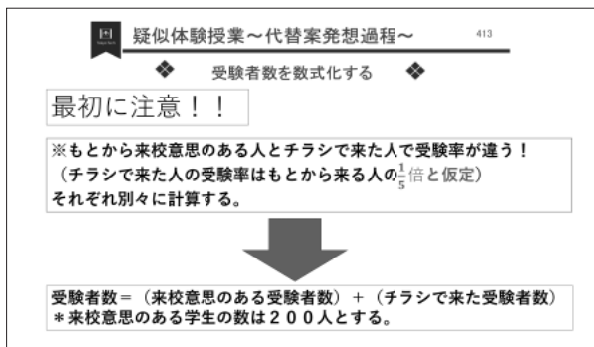


図8 来校意思の有無による受験率の変化を説明した画面

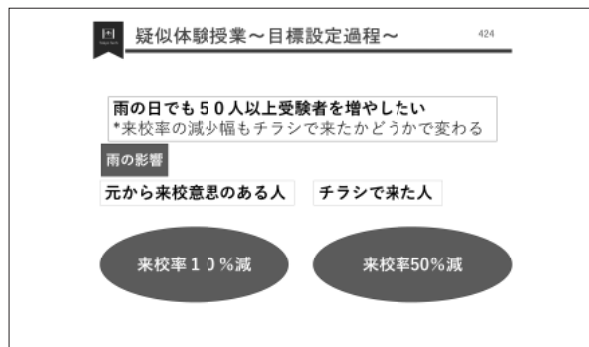


図9 天気による来校者数の変化を説明した画面

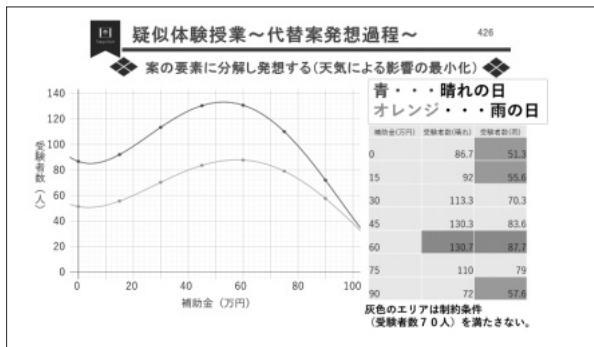


図10 クラスへの補助金額 x と期待される受験生数との関係

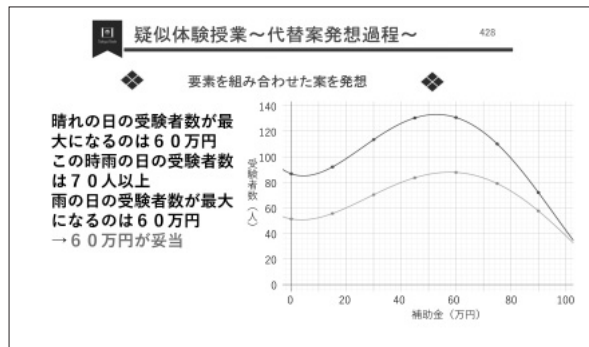


図11 最適な予算額の分配を求める画面

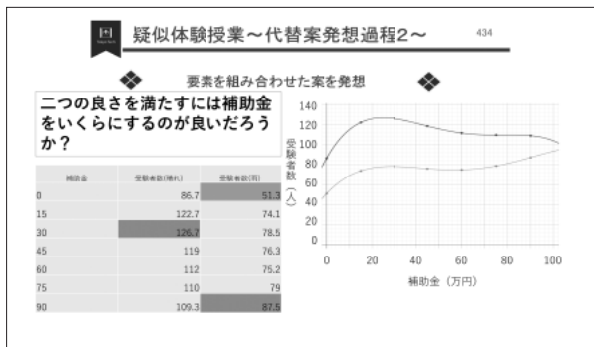


図12 本教材の代替案発想過程2での画面

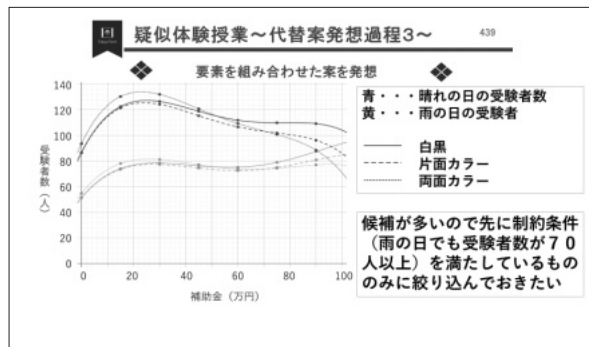


図13 本教材の代替案発想過程3での画面

3.4 最適解導出過程

今回作成したゲーミング教材はここまでではあるが、生徒には最適解導出過程の流れを示したプリントを配布した。そこでは、最適解導出過程に入る前に、案の欠点がないか、他に考慮しなければいけない点はないかを考え、十分に代替案発想過程⇔合理的判断過程を行き来した上で最適解導出過程に移るべきことを説明した。

最適解導出過程では、これまでの過程で出てきた案を解の良さごとに優先順位をつけ最終的な解を決定する。どの解の良さを優先するかで選択する解は変わるため、プリントでは明示的な解は出さずに解の決定の仕方だけを説明している(図14)。

4. ゲーミング教材の実践の概要と結果

4.1 実践の概要

今回、附属高校の一年生168人にゲーミング教材を体験してもらった。ただし、実施するパソコンの台数の関係上、2人1組になって本教材に取り組んでもらった。授業中では終わらなかった場合は残りの部分を宿題として行ってもらった。その後に教材に関するアンケートに回答してもらった。なお、アンケートで聞いた質問は以下の4つである。

- ①適切な補助金額・チラシの様式とその理由(補助金額は選択式、そのほかは記述式)
- ②ゲーミング教材では検討しなかった評価方法の工夫の個数
- ③これからの課題学習をどのように取り組めば良いかイメージすることができたか(5段階評価)
- ④課題学習でどのような数学的な見方・考え方をを用いれば良いかイメージすることができたか(5段階評価)

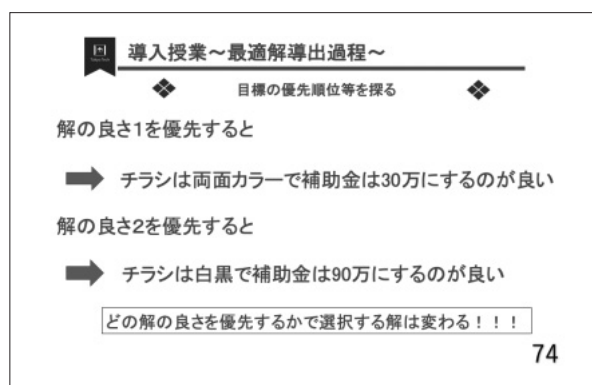


図14 最適解導出過程の説明で用いたスライド

本教材は、先に述べたように総合的な学習の時間で「0円ソーラー」についての評価を行うことを想定した内容であるが、実際の授業では生徒は総合的な学習の時間で「0円ソーラー」については扱わない。本教材は高校でこの後に行われる「課題学習」(本教材とは全く異なる)の事前学習として取り組んでもらっている。そのため、質問3・4はその課題学習の事前学習としての質問となっている。

またアンケートはGoogleフォームを用いて行い、ゲーミング教材に使用したスライドは、後日生徒たちに配布した。

4.2 実践の結果

今回、ゲーミング教材内に発問を36個設けた。それらの発問は全て選択式である。その結果は表1の通りである。

また、アンケートの結果は以下の通りである。

質問1「最終的にどのような案(各クラスに配分する補助金額)を学校に提案するのが良いと思いますか?また、選んだ理由を記述してください。(チラシの印刷条件についても考察してください)」の結果は、表2の通りである。

補助金額としては30万円の回答が最も多く、次いで60万円、90万円と続いた。30万円を選んだ理由として多かったのは、「(文化祭の日が)晴れの時に最も多く人数を確保できるから」「晴れの日の方が雨の日より多い」「両面カラーの方がわかりやすい」などが挙げられた。60万円を選んだ理由として多かったのは「30万円と90万円の間をとった」「晴れの日でも雨の日でも人数が確保できる」というものが挙げられたが、一方で「30万円両面カラーが最も多い」という、理由としては適当ではないようなものも複数の回答で見受けられた。90万円を選んだ理由として多かったのは、「雨の日も人数を確保できるから」「安定しているから」「派手にやりたいから」などが挙げられた。

質問2「このゲーミング教材の中では検討しなかった評価方法の工夫について、いくつ考えることができましたか?(最大10個まで/例えば、「関数について1次関数で近似するのが良いのではないか。」など)」の結果は表3の通りである。

評価方法の工夫については最大で10個まで書くことができるようにしたが、一番多い生徒でも5個であった。また、過半数の生徒が一つも挙げなかった。

質問3「ゲーミング教材を用いた実践学習を通して、数

表1 発問に対する解答の結果

発問 (スライド番号)	解答数	正解	不正解	正解の 割合(%)
1(303)	105	89	16	84.8
2(304)	105	62	43	59.0
3(305)	105	101	4	96.2
4(308)	105	101	4	96.2
5(309)	103	89	14	86.4
6(312)	102	95	7	93.1
7(313)	102	99	3	97.1
8(321)	102	97	5	95.1
9(331)	102	62	40	60.8
10(332)	102	94	8	92.2
11(335)	102	99	3	97.1
12(337)	102	93	9	91.2
13(402)	99	86	13	86.9
14(403)	99	19	80	19.2
15(405)	99	82	17	82.8
16(407)	99	65	34	65.7
17(408)	99	53	46	53.5
18(409)	99	42	57	42.4
19(410)	99	7	92	7.1
20(418)	98	32	66	32.7
21(421)	97	62	35	63.9
22(423)	97	92	5	94.8
23(426)	97	77	20	79.4
24(427)	97	81	16	83.5
25(502)	90	69	21	76.7
26(506)	90	70	20	77.8
27(430)	81	68	13	84.0
28(431)	81	75	6	92.6
29(433)	81	66	15	81.5
30(434)	81	60	21	74.1
31(507)	76	75	1	98.7
32(439)	72	41	31	56.9
33(444)	72	41	31	56.9
34(440)	72	46	26	63.9
35(442)	72	52	20	72.2
36(443)	70	54	16	77.1

表2 質問1の回答の分布

補助金額	チラシの様式	人数	割合(%)
0万円	無回答	0	0.0
	白黒	1	0.6
	片面カラー	0	0.0
	両面カラー	0	0.0
15万円	無回答	6	3.6
	白黒	4	2.4
	片面カラー	0	0.0
	両面カラー	0	0.0
30万円	無回答	36	21.4
	白黒	7	4.2
	片面カラー	1	0.6
	両面カラー	59	35.1
45万円	無回答	2	1.2
	白黒	2	1.2
	片面カラー	0	0.0
	両面カラー	2	1.2
60万円	無回答	17	10.1
	白黒	0	0.0
	片面カラー	5	3.0
	両面カラー	2	1.2
75万円	無回答	1	0.6
	白黒	1	0.6
	片面カラー	1	0.6
	両面カラー	0	0.0
90万円	無回答	5	3.0
	白黒	13	7.7
	片面カラー	0	0.0
	両面カラー	3	1.8

表3 質問2の回答の分布

個数	人数	割合(%)
0	91	54.2
1	46	27.4
2	16	9.5
3	9	5.4
4	5	3.0
5	1	0.6
6以上	0	0.0

学の課題学習へどのように取り組めばよいか、イメージすることができましたか？」

質問4 「ゲーミング教材を用いた実践学習を通して、数学の課題学習でどのような「数学的な見方・考え方」を用いればよいか、イメージすることができましたか？」の結果は表4、表5の通りである。

質問3、4は生徒の自己評価に関する質問であり、質問3の平均は3.68、質問4の平均は3.74であった。

5. 数学I「課題学習」のテーマ設定の収集

4章で述べたように、数学I「課題学習」によってゲーミング教材を実施したのち、附属高校の1年生を対象として、課題学習で取り組もうと考えているテーマを問うアンケートをGoogleフォームを用いて実施した。その結果、在籍している1年生176人中、94人の生徒から回答を得た。回答率としては53.4%にとどまったが、これは新型コロナウイルス感染拡大の影響を受

表4 質問3の回答の分布

	人数	割合(%)
5(できた)	29	17.3
4	75	44.6
3	49	29.2
2	11	6.5
1(できなかった)	4	2.4

け、学級閉鎖などにより、授業そのものに時間的な制約があったことや、課題学習のアンケートに関する伝達が行えなかったクラスがあったことなどが原因である。

この回答した94人のうち、テーマを考えていないという生徒は63人であり、その割合は67.0%であった。何かしらのテーマを回答した生徒は31人で33.0%にとどまっている。これは、今回実施したゲーミング教材が、課題学習のテーマを設定することに焦点化しているというよりは、汎用的問題解決のモデルである縦糸・横糸モデルに基づき、課題学習の進め方に焦点化されたものだと生徒に受け取られたために生じたものと考えられる。これは、汎用的問題解決の方法論をゲーミング教材で具体例を通して生徒に示すことができたものの、テーマを考えることへ転移することは難しかったものと考えられる。個々のテーマに関しては、6章の考察にて詳しく分析を行う。

6. 考 察

6.1 ゲーミング教材の考察

4章の結果から、本教材が附属高校の生徒に対して総合的な学習の時間で必要となる能力を育成するにあたって効果があったかどうかについて考察を行う。

まずゲーミング教材の実施状況についてであるが、表1から分かるように最初の発問を解答した105のゲーミング教材にログインしたアカウントのうち、最後の発問に解答したアカウントは70であった。また、クラスごとに実施状況に差があり、全員が最後まで終えているクラスもあれば、半分以上が終わらせていないクラスもあった。そのようになった背景として、ネットワーク環境が不安定であったこともあり、授業中にゲーミング教材に取り組めた時間に差があったことが考えられる。

そして、発問への正答状況であるが、発問を内容確認のための発問と生徒に思考を促すための発問の2種類に区別して考えると、内容確認の発問の正答率は平均して81.3%であり、思考を促す発問の正答率は平均

表5 質問4の回答の分布

	人数	割合(%)
5(できた)	36	21.4
4	70	41.7
3	47	28.0
2	13	7.7
1(できなかった)	2	1.2

して63.2%であった。やはり思考を促す発問の正答率の方が低い結果となったが、特定の発問で正答率が極めて低くなってしまったものもあった。

以下、詳しく考察していく。スライド番号300番台の、生徒に思考を促す発問のうち、正答率が6割前後と低かったものは発問2と発問9であった。発問2は、施策の評価における生徒の立場を思考させる発問で、「施策を決める立場ではなく、学校側の提案の有効性を検証する立場」「新たな施策を発案したい」が正しいかどうかを問うものである。正解としては、「施策を決める立場ではなく、学校側の提案の有効性を検証する立場」が正しく、「新たな施策を発案したい」が誤りであるが、「新たな施策を発案したい」の部分で誤った立場と認識せずに回答したのと考えられる。次に、発問9は「今回の施策の良さとして、当てはまる場合は○、当てはまらない場合は×を回答してください」と解の良さの観点を思考させる発問で、「経済性」および「安定性」が正しい。この発問のフィードバックに相当する発問が発問10で、「経済性」および「安定性」の具体例を提示し、どちらの観点到該当するかを考えさせている。発問9の正答率は低かったが、発問10の正答率は9割程と、解の良さの具体例を考えることによって生徒の理解が促されたと考えられる。次にスライド番号400、500番台の発問について考察する。内容確認に関する発問、生徒の思考を促す発問に対する正答率の平均はそれぞれ、70%、50%と、思考を促す発問に関する発問の正答率が低い結果となった。特に発問14、18、19、20の正答率が50%を切る特に低い結果となった。発問14は数式化に必要な情報を導入の段階で「受験者数を予測するのに必要な情報を全て選べ。」と発問している。しかし、この段階では受験者数増加のモデルの説明が不十分だったため、正答率が低くなったものと考えられる。発問18、19、20はそれぞれ「モデルを基に立式するとxで表せるものを選び。チラシで文化祭に来て、受験もする生徒数のうち補助金をxとしたときxで表せるものに○を表せないものに×を選び。」「受験率の関数をどのように近似したらよいか」など数式化に関する発問である。ここでの関数化では3次関数を使っているが、提示された座標平面に表示された

4つの点は、直観的には直線近似する方が自然である事、 x で表せるものを答える際に要素間の関係を覚えていられなかったこと、1次関数と2次関数以外の n 次関数についての生徒の知識の定着がなかったことなどから正答率が低くなったものと考えられる。また、グラフや表を読み取れば分かるような内容確認の発問の中にも正答率が低いものがあり、これは表を見ずにグラフの形だけを見て解答していることや、発問の意味を理解せずに解答していることが考えられる。

次にアンケートの結果について考察を行う。質問1の内容について、著者らとしては質問1の回答として30万円/両面カラーもしくは90万円/白黒の二つを想定していた。本教材もその2つに誘導するような形になっている。しかし結果としては、チラシの様式について無回答であった回答を含めたとしてもその回答をした生徒は全体の7割にも満たなかった。また、本教材で最終的に案を決定する時に用いた「解の良さ」という考え方を、単語として理由の中に明記した生徒は5名にとどまった。さらに、こちらの想定した回答をした生徒の中にも「30万円の方が安くすむから」「90万円だとコストが高すぎる」など、予算100万円を使い切ることが伝わっていない回答が多くあった。なお、この質問1の内容に直結する発問を図13を提示した場面で設けており、その発問内容は以下のものである。

○発問35「晴れの日の受験者数を最大にするは補助金をいくらにしてチラシのカラーはどうするのが良いだろうか？」

チラシの選択肢 白黒、片面カラー、両面カラー
補助金の選択肢 0, 15, 30, 45, 60, 75, 90(万円)

○発問36「雨の日の受験者数を最大にするにはチラシのカラー、補助金はどのようにするのが良いだろうか？」

チラシの選択肢 白黒、片面カラー、両面カラー
補助金の選択肢 0, 15, 30, 45, 60, 75, 90(万円)

発問35の正答は両面カラー/30万円であり、発問36の正答は白黒/90万円となり、これらは質問1において、想定される回答である。発問35, 36に解答しなかった生徒たちの正答率は比較的lowだったが、一方で発問35, 36に正解したが質問1では異なる回答をした生徒もいた。この生徒たちは本教材の流れや発問の意図を理解できていない、または本教材で示された合理的判断過程とは別の観点で最適解を導出していることが考えられる。

また質問2の内容について、これは合理的判断過程でどれだけ政策を批判的に考えられているかを評価するための質問であったが、前述したように過半数の生

徒が一つも挙げておらず、良い結果とは言えなかった。質問1の結果と合わせて考えると、生徒の本教材そのものの理解度はさほど高くなかったものと思われる。

次に本教材の目的である、生徒が総合的な探究の時間で政策評価課題に取り組む準備ができていくかについて考察を行う。本来であれば、「0円ソーラー」について生徒に取り組ませて、そのときの生徒の様子やアウトプットされたものから評価すべきものであるが、附属高校での実践の目的からそれるため、直接的な評価ができない。そこで、参考として東京工業大学「数学科教育法Ⅲ」を履修している学生3人が本教材を体験したのちに作成した学習指導案を用いて、本教材の効果を考察を行う。

学生の指導案はいずれも縦糸・横糸モデルを意識して作成されていた。また、そのうち2人はそのモデルに沿った授業が展開されるものとなっていた。このことから学生たちに対しては、本教材を通じて、縦糸・横糸モデルを学習指導案に反映させることができていたことから、課題学習の事前学習の教材としての効果が認められる。これが附属高校の生徒にも適用されるとすれば、全体としては教材そのものの理解度は高くなかったが、問題解決の流れについての理解度は高いと考えることができる。

6.2 生徒のテーマ設定に関する考察

方法論を指導したことへの形成的評価を軸に、テーマ設定とはやや切り離して考察して、教材の評価を考察する生徒32人から回答されたテーマを分析を行う。なお、アンケートでは課題学習で取り組もうと考えているテーマが複数あれば、それも回答する形式をとった。これは、「より良い」を考えるためには常に複数考えることが重要となるためである。ただし、アンケートの上でも、指導するうえでも複数考えることを強制はしていない。複数の回答があった場合には、優先的に取り組もうと考えているテーマを選んでもらい、回答を記してもらった形式をとった。

集まった生徒からのテーマを分析し、以下に挙げる3つの観点で分類を行う。

1. 数量化できるテーマかどうか

今回の教材では、補助金額とチラシの様式による効果を定量的に分析している。すなわち、受験者数を「数量化」し、文化祭当日が晴れの場合と雨の場合で解の良さが変わるという内容に比重が置かれていた。そのため、課題学習のテーマ設定が、数量化することを想定しているかどうかを基準に分析した。その結果、表5

表5 回答の分布

	人数	割合(%)
数量化を想定	14	45.2
部分的に想定	10	32.2
数量化が曖昧	7	22.6

に示された割合となった。

この結果から、数量化することを想定していると考えられるテーマが半分程度であることがわかった。なお、このようにテーマを分析する際の判断基準は、そのテーマや詳細に「定量的な分析」と「定性的な分析」が整理されて記述されているかとした。ここで、「定量的な分析」とは、文字通り「数量化」して表せる要素を分析することであり、「定性的な分析」とは、物事の様子または変化などを、数字では表せない「性質」の部分に着目して分析することを指す。

例えば、「サッカーのPKにおいて先攻後攻は関係あるのか」は、これまでの試合におけるPK戦で、先攻と後攻のどちらが勝利したかを調べることで、その確率を与えて数量化することができる。しかしこの問題の背景には、心理的なプレッシャーなどが大きく関わっており、定性的な分析と切り分けて考えることが難しい。このようなテーマを、「部分的に想定」とした。

「数量化が曖昧」としたテーマには「日本の住宅事情」など、その詳細を含めて見ても数量化して分析することが難しいと考えられるテーマを数えることとした。なお、今回実施している分析そのものが、定量的な分析と定性的な分析の両側面から実施しているということも付け加えておきたい。

2. 複数の案を比較・検討しているか

今回の教材は、汎用的問題解決の縦糸・横糸モデルに基づいて、代替案発送過程と合理的判断過程を行き来し、複数の案を検討することの指導を目的とした教材である。問題をより良く解決するためには、複数のアイデアを検討することが重要であり、テーマ設定やその詳細から複数の案を比較・検討するような内容に取り組む想定かどうかを分析した。その結果、表6に示された割合となった。

ここで、複数の案を明示的に検討しているテーマや詳細を記しているものは、「複数の案を検討」に加えている。「検討の可能性あり」としたものは、例えば「アイスが一番売れる条件」のように、複数の案を検討する(代替案を発想する)ことは明記されていないが、答えが一つとは限らないものを選んだ。「答えがただ一つ」は、「ポーカーで役ができる確率を計算する」のように、代替案などを発想する余地のないテーマを選んだ。

表6 回答の分布

	人数	割合(%)
複数の案を検討	8	25.8
検討の可能性あり	18	58.1
答えがただ一つ	5	16.1

これらの分析を踏まえると、ただ一つの答えを求める(調べる)課題をテーマとした割合は16.1%と少なく、探究活動を進めていく上で、教師がコメントすることでより探究的な活動を深めることができる可能性のあるテーマを発想した割合は83.9%となった。

3. 解決すべき問題の種類

本教材は逆向き設計に基づき、総合的な探究の時間で行うテーマを「0円ソーラー」と設定し、そのサブ課題として、この政策と同じ構造を持つ類題「文化祭の予算の使い方」を問題解決の縦糸・横糸モデルに基づいて行うゲーミング教材である。

そのため、「0円ソーラー」と同じような構造を持つテーマ設定であったり、政策評価を目標としたサブ課題としてテーマ設定がなされていれば一市民として解決すべき問題が認識できていると想定される。そこで、今回の教材の効果として、政策評価に数学を活用することがどの程度生徒に伝わったのかを検証する。

集計した結果、以下のような分析結果となった。

表7 回答の分布

	人数	割合(%)
社会問題のテーマ	3	9.7
身近な問題のテーマ	2	6.5
理数的・専門的テーマ	26	83.9

社会問題のテーマは「日本の住宅事情」、「個人レベルでの二酸化炭素排出量を減らすには」、「ビル風の風速とビルとビルとの間の距離の関係」の3つである。これら3つとも、大きなテーマを挙げたものの、具体的にどのような政策を評価するのかといった詳細は触れられていない。しかし、社会的な問題に何らかの形で数学を使うということは伝わったと考えられる。

「身近な問題のテーマ」は本教材でも取り扱ったものである。生徒からは次のようなテーマが得られた。「300円以内で購入する遠足のおやつ最適解」、「自宅付近でバイトをするか、Uber Eatsで働いた際の時給の比較」である。これらは、二つとも解の制約条件の下でより良い最適解を探すテーマである。

また、「理数的・専門的テーマ」は上に挙げなかったテーマで、「最も効率の良い紙飛行機の形状は何か」など、どちらかといえば理数探究で扱うようなテーマで

ある。

以上のことから、今回の教材の効果として政策評価に数学を活用するという事は、生徒にほとんど伝わらなかったと考えられる。ただし、社会的な問題を数学の課題学習で扱おうとした生徒がいたことから、社会的な問題に対しても数学の活用を試みる生徒がいることが明らかとなった。

7. 課題と改善点

7.1 ゲーミング教材に関する課題と改善点

教材についての課題について述べる前に今回の大きな課題として、生徒のアウトプットがなかったため実際に生徒が問題解決の流れを把握できているのかを評価することができなかったことが挙げられる。今回は生徒の自己評価に関する質問が多くなってしまったが、アンケートの内容をそれらをより評価しやすい内容にするべきであった。

また、アンケートに回答するためのGoogleフォームにアクセスできるQRコード画像を、最適解導出過程について説明したプリントに添付したが、プリントは授業終了時に教材を終わらせていない生徒にも配ったため、教材を終わらせなくてもアンケートに回答することが可能であった。これを防ぐために教材の一番最後にそのQRコード画像を提示するべきであった。

次に教材についての課題であるが、6章で述べたように本教材で扱った課題の理解度は高いものではなかった。その理由の一つとして、課題について理解をしなくても教材を進められてしまったことが挙げられる。本教材は、スライドとともに出る発問に正解することで次に進むことができる仕様となっているが、その発問内容がそのスライドだけを見れば正解できてしまうような簡単なものもあり、生徒に考えさせるような発問は少なかったように思われる。上述した発問35、36も、内容は単なるグラフの読み取りの問題である。そのためか、こちらが想定していたよりも早く生徒たちは教材を終わらせていた。これは、生徒がスライドの内容を把握・理解する前に進めてしまっていることが反映されたものであると考える。今回、生徒からのコメントとして「選択肢が二択で考えやすかった」とあったが、これは深く考えなくても答えることができると捉えることができる。そのため、扱っている教材の内容を把握させる発問や生徒に思考させる発問をもう少し設けるべきであった。改善策の具体案としては、思考を促す発問において二択の発問をなくし、ダミーの選択肢を増やすことが挙げられる。また、発問

は選択式が中心だったが、それだと一方向に進む教材になってしまうため、記述式の発問を設けることが必要であった。発問の内容での改善点としては、質問2を補助するような発問を教材の中に設けるべきであった。5章で述べたように質問2の回答の結果は良いものではなかった。質問2を回答するためには「合理的判断過程について理解していること」と「教材の内容を理解していること」の二つの壁があり、やや質問の難易度が高かったものと思われる。そのため教材の中で、検討する候補の中から合理的判断過程で考えられることを選ばせるなど、合理的判断過程について思考するための発問を設けて質問2を補助するべきだったと考える。また、その解答結果によってその解答に合わせた教材に分岐が起こるなどの過程があってもよかったと考える。

また、今回の教材は教材として未完成だった部分があった。例えば、この教材は先に述べたように発問に正解することで次に進むことができるが、生徒が教材に対するモチベーションを維持するために誤答を二回繰り返した場合でも次に進むことができるような仕様となっている。しかし、その場合に生徒に適切なフィードバックを返すことができていなかった。それにより生徒が困惑してしまい教材の内容に集中することができなかつたと思われる。また、今回は最適解導出過程の部分をプリントでの配布による説明としたが、この部分は質問1での生徒の回答に大きな影響を与える部分であるから、これも教材の中に組み込むべきであった。

生徒を教材の内容に集中させるためには、上記のように生徒を困惑させないことが大事である。そのため、教材内には生徒が疑問に思うようなことをできるだけ少なくすることが望ましいと考える。そうするための改善点の一つとして、情報収集過程をきちんと行うことが挙げられる。今回は全体の分量を考え、各横糸での情報収集過程をこちら側から情報やデータを与えるだけにしていた。しかし、その情報に疑問を持つ生徒や、与えられたデータで得た結論に納得できない生徒がいることが考えられる。また、生徒に情報収集過程を体験させるような教材でなければ自身の活動に転移しにくいと考えられる。今回は政策評価の方法論を指導する教材であるため、数字の正確性は重要ではないが、与える情報の根拠となる補足資料を参照させるような工夫を盛り込む必要があると感じた。さらに、今回はデータを与え数式化させたもののグラフを生徒に読み取らせる過程が多く、与えたデータがどのように結果に反映されているのかがわかりづらくなってしまっていた。そこで、例えば図8や図9で与えた受験率・来

校率の変化がどのように結果に反映されているのかを生徒に考察させるような過程があればよかったと考える。

7.2 附属高校からの教材に関する改善点の指摘

本教材において、各横糸における情報収集過程が省略されており、なぜその数値が出てきたのかを提示しないと、得られる結論にも納得感が得にくい。自分のレポート作成にも疑問を残さないで取り組めるように、情報収集過程において納得のいく根拠が示せるとよい。

また、生徒自らが課題を設定して、自分なりの課題解決を行うことが本単元におけるメインの活動であるが、情報収集の過程についてもある程度提示しなければ、生徒自身の活動にも転移しにくいと考えられる。当然50分という時間の制約があり、その中で数学の課題学習に着目した見方・考え方や知識・技能の活用場面を提示する(情報処理の段階)ことに重きを置くことが重要であるが、補足資料としてそれぞれの数値の根拠を明示するなどの教材の工夫があるとよいのではないかと考えられる。たとえば、チラシ配りの効果について検証した例がある。生徒に納得感を与えて、現実の問題解決への有用性を実感させて動機づけを与えることが重要なので、数値の正確性はさほど重要ではない。

また、本教材において、用いる数学的な知識技能や見方考え方は、数学Iの内容で十分カバー可能なものであったが、取り組んでいる生徒の様子を見て理解が十分でないと思われる点があった。例えば、教材の後半で、3・4次関数を表計算ソフト等により各点をプロットして、グラフを図示する場面があったが、3次関数のグラフがどのようにして描かれているのかについて納得できていない生徒が多かった。

これは、「2次関数とそのグラフ」の単元においてすでに一度体験している活動であるが、これを3次関数や他の関数のグラフの描画にも適用できるという能力に転移できていないことが原因である。普段の授業において、2次関数での性質や手法が、2次関数以外の一般の関数にも適用できることを授業で提示すること必要性を実感した。

7.3 附属高校における通常授業に関する考察

附属高校数学科の通常授業においては、主に平成21年度告知の高等学習指導要領に準拠した教科書の内容に沿って進める形態をとっている。教科書に記載されているコンテンツは、学習指導要領に則して網羅されているが、中学校数学科の「C：関数」から引き継がれた数学Iの「(3)2次関数」は、その目標に「二つの

数量の関係に着目し、日常の事象や社会の事象などを数学的に捉え、問題を解決したり、解決の過程を振り返って事象の数学的な特徴や他の事象との関係を考察したりすること」とあるものの、その関係をあくまでも「2次関数ととらえ」るよう限定するよう設定されており、今回の授業のように2次関数以外の3・4次関数に関する取扱いが不足する。

探究的な活動を行うにあたっては、今回の場合であれば「2次関数のグラフを決定するには、3個の通る点が必要」という知識だけでなく、「 n 次関数のグラフを決定するには、 $n+1$ 個の点が必要」であることなども学ぶことができれば、部品知識が統合され、知識構造が転移課題の解決を可能にすると期待できる。

また、探究的な活動を行うにあたっては、今回の設問のように得られたデータに対し「何次関数を当てはめればよいか」という設問を考える場面が現れると想定される。その際、関数を決定するのに必要な点の個数よりも過剰に点が得られている場合に「扱う関数の種類」を優先させるのか、「必ずすべての点を通るようにする」ことを優先させるのかで、考えるべき内容が異なってくる。これは、扱う関数の種類やデータの個数によっては計算が煩雑で、表計算ソフトを扱ったとしても、かえって本質的な部分がわからなくなることもあると想定されるためである。

今回の教材では扱われなかったが、受験率と予算の関係を表すデータが比較的直線状に並んでいると考えられれば、1次関数を用いて関数化するケースも想定されるであろう。複雑なケースでは、そもそも与えられた $n+1$ 個の点を通る n 次関数が存在しない場合もある。探究的な活動を行う準備段階として、これらの関数化する手法について、探究的な活動を行うことを想定してあらかじめ教えておくことも考えられる。

7.4 数学的政策評価方法の指導について

今回は、政策評価を行うための方法論に注目してゲーミング教材を作成した。そのため、生徒から提出された課題学習のテーマ設定からは、直接政策評価を数学を用いて行うことにつながるものはほとんどなかった。そこで、政策評価を数学を用いて行う指導をどのようにすればよいのだろうか。

そのための課題として、以下の2点を挙げたいと思う。

1点目は、政策が具体的にどのような場所に掲載されているかを教え、その政策の対象となる人数などに、

納得の行く数値を出すことを教えることである。内閣府のホームページに、具体的に国がどのような政策を施しているかが掲載されている。しかし、これを見てもすぐに数学を用いて評価できるようになるとは考えにくい。というのも、予算を見ても、どの程度の人口がその政策の対象となるのか、そもそもの母数がわからない場合がほとんどだからである。それを評価するための資料は総務省統計局に記載されている人口統計などから入手できる場合もあるが、正確なデータを算出しようとする、かなり複雑な計算が要求される他、実際に欲しいデータにたどり着くことができない場合もある。これは、いわゆる「定量的な評価」のみに基づいてできる政策評価にも、限界があることを意味しているかもしれない。しかし、そのために数学だけでなく他の教科を使うということも忘れてはならない。

そこで2点目として、政策評価を数学のような定量的な分析だけでやろうとすると難しくなることを教えることである。性質に注目する「定性的な評価」を行うために、社会や国語などの他の教科で習った事項を使うということが考えられるだろう。どのように逆向き設計において各教科のサブ課題を設定するかという話題となり、この考察は今後の課題となるが、政策評価を数学だけで行うと意識すると、これまで通りの積み上げ式の学習と変わらなくなってしまう。そこで、できるところまでやってみて、定性的な評価と組み合わせる総合的な探究の時間に用いると、より教科の特性を生かしやすい逆向き設計ができるものと考えられる。

8. まとめ

本稿では、課題学習の導入教材としてのゲーミング教材を作成・実践し、その効果を検証した。この研究の目的は縦糸・横糸モデルに基づき、数学的な見方・考え方をを用いて課題学習に取り組む方法を習得させることであった。しかし、生徒から得られたアウトプット(事後アンケートの質問2、課題学習のテーマ)を見る限り合理的判断過程で指摘すべき要素の発想力、問題解決的なテーマ設定力の定着は不十分であった。この点については前述のような教材の改善が必要であることはもちろんだが、通常の授業でも指導が必要である。特に現象をモデル化する、モデルを批判的に検討する等の活動を行うことで、数学を活用する力が育成されると考えられる。

例えば、よくある文章題で「弟が家を出て毎150mで歩いて行った。兄がその10分後に毎分300mで追いかけた。兄が弟に追いつくのは兄が出た何分後か。」と

いった問題がある。この問題は、疲労による速度の低下を無視したモデルとなっている。そのため「どんなに兄が遅れて出発しても、いつかは追いつける」等、現実との矛盾が生じている。このような矛盾を生徒に気付かせ、より現実的なモデルを設計する授業が考えられる。

今回数学科教育法実践演習Ⅱの履修を通して、一つの教材では時間的な制約もあり、問題解決の縦糸・横糸モデル、数学的な見方・考え方(それに基づいた現象モデル化)の両方を定着させることの困難さを感じた。そこで今後、生徒の課題解決力を育成するには、モデル化の検討等は通常の授業である程度触れておき、課題学習の事前課題としてはテーマ設定や縦糸・横糸モデルの指導により焦点を当てられるようにすることでより充実した指導が可能になると感じた。

謝 辞

本研究を進めるに当たり、松田稔樹教授には多大なご指導、助言を賜りました。厚く感謝申し上げます。

参考文献

- 松田稔樹(2018)「縦糸・横糸モデル」を基盤とするインフォームドな指導を行うゲーミング教材の提案とその開発支援, シミュレーション&ゲーミング, 27(2):49-60
- 松田稔樹(2020)「総合的な学習の時間」から各教科に向けた逆向き設計の指導, 日本教育工学会研究報告会集, JSET20-4, pp.103-110
- 松田稔樹(2015) 情報科教育で扱うべき問題解決活動の明確化と授業・教材の設計指針. *Informatio*, 12, 37-43
- 松田稔樹, 岡本敬, 早坂健, 下江秀人, 小佐野隆治, 砂岡康宏(2012) 数学「課題学習」と理科「探求活動」の授業設計の観点, 日本科学教育学会年会論文集, pp.279-280
- 神里 知弥, 嶋本 拓海, 堀 直輝, 松浦 弘毅, 村田 弘樹(2021) 数学課題学習と理科探究活動の指導計画改善を促す仮想授業ゲームの開発と効果検証, *Informatio*: 江戸川大学の情報教育と環境 18, 31-40,
- 松田稔樹(2021) 政策評価方法を指導する数学「課題学習」教材, 日本教育工学会研究報告集 2021(4), 237-244, 2021
- 文部科学省 平成30年度告示高等学校学習指導要領解説 数学編 理数編; http://school.et4te.org/sci3/kasou/20R10011-kasou/gaku_kai.pdf